

## CAPÍTULO II

### LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE LA ENERGÍA NUCLEAR

36. El contenido de este derecho: la energía nuclear. Algunas ideas generales . . . . .	245
A. Composición de la materia . . . . .	245
B. Desintegración del núcleo atómico y su conversión en energía. . . . .	246
C. La radiactividad y la relatividad . . . . .	246
D. Reacciones en cadena y producción de energía nuclear .	247
37. Las instituciones jurídicas relativas a la energía nuclear . .	248
38. La investigación científica de la energía nuclear en México	249
A. El Instituto de Física de la UNAM (IFUNAM) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN) . . . . .	253
B. La Universidad de Guanajuato . . . . .	254

## CAPÍTULO II

### LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE LA ENERGÍA NUCLEAR

#### 36. El contenido de este derecho: La energía nuclear. Algunas ideas generales

Siendo este libro sobre derecho de la energía nuclear, lógico es que empecemos dando aunque sea una somera idea de la materia que constituye el contenido de esta disciplina jurídica.

A tal fin, hablemos de la composición de la materia y del átomo; de la desintegración del núcleo atómico y de su conversión en energía; de la radiactividad y de la relatividad; de las reacciones en cadena y de la transformación de ciertos elementos hasta llegar a la producción de la energía nuclear en su forma actual.

#### A. *La composición de la materia*

La materia se compone de pequeñas partículas de forma esférica, que se llaman átomos. Se empezó clasificando 92 tipos de átomos que constituían 92 diferentes elementos simples. Estos átomos básicos se combinan para formar millones de tipos de moléculas o grupos de átomos que forman sustancias.

El núcleo del átomo se compone a su vez de partículas de protón y de neutrón. Los electrones giran alrededor de pequeños y pesados protones en el núcleo, como planetas alrededor del sol.

El protón tiene una carga eléctrica positiva igual en magnitud a la del electrón, de carga negativa, situado en una órbita fuera del núcleo y tiene que vencer la repulsión eléctrica positiva del núcleo antes de poder penetrar en él y causar su desintegración. El neutrón no tiene carga eléctrica alguna y es el proyectil ideal para bombardear átomos. El número de protones y neutrones que forman el núcleo determina el peso atómico.

El número de protones en el átomo de un elemento es siempre el

mismo, pero en algunos átomos el número de neutrones puede presentarse en dos o más formas isotópicas con distinto peso atómico. En el elemento más ligero, el hidrógeno, sólo un electrón circula en torno a un protón. El átomo natural más pesado, el de uranio, tiene 92 electrones, que giran en torno a un grupo de partículas nucleares.

Los isótopos son, pues, formas de un mismo elemento que ofrecen variaciones en su peso atómico. Las partículas que forman el átomo están en vibración continua pero en equilibrio. En algunos elementos como el uranio, con 92 electrones y un peso atómico de 238, es posible romper ese equilibrio, con lo cual se ponen en libertad fuerzas increíbles.

### *B. Desintegración del núcleo atómico y su conversión en energía*

Así, al exponer el átomo de uranio al bombardeo de una corriente de neutrones emanada de una partícula de berilo tratada con radio, uno de esos proyectiles atraviesa la órbita de electrones que circundan el núcleo y penetra en él, rompiendo el equilibrio de sus componentes, con la consiguiente producción de gran cantidad de energía. Del átomo desintegrado salen expedidos algunos neutrones y si ellos a su vez se convierten en otros tantos proyectiles que van a bombardear los núcleos de otros átomos de uranio, se produce una reacción en cadena.

De lo anterior, resulta que la energía atómica o nuclear es la que se obtiene mediante la desintegración del núcleo del átomo; o sea la aniquilación de la materia como tal y su conversión en energía. En las reacciones químicas en las cuales también se produce energía, como por ejemplo, la combustión, no son sino combinaciones de átomos para formar moléculas de diversas sustancias; pero en ellas el núcleo del átomo permanece intacto. En cambio, en las reacciones nucleares ocurren cambios fundamentales en los núcleos, y los elementos que intervienen en ellas se transforman en otros elementos, con lo cual se demuestra, de paso, que la ley científica de la conservación de la materia según la cual ésta es indestructible, es falsa.

### *C. La radiactividad y la relatividad*

Al observarse el fenómeno de que los átomos de las sustancias radiactivas se estaban desintegrando, emitiendo partículas de energía, surgió la explicación de que, por consiguiente, el átomo tenía que estar constituido por partículas subatómicas unidas entre sí por fuerzas incommensurables y con ello la teoría de la radiactividad consagrada por la moderna física nuclear.

De acuerdo con ello, el radio, elemento radiactivo emite calor y también radiaciones llamadas rayos "Alfa" o sea corrientes de iones de helio a alta velocidad; rayos "Beta" electrones; y rayos "Gama", es decir, ondas de energía pura. El proceso causado por la desintegración de los átomos del radio para formar átomos de plomo, se le conoce como la radiactividad.

Una regla fija de la radiactividad es que la mitad de cualquier elemento radiactivo se transforma en otro en cierto periodo de tiempo. El tiempo necesario para esta conversión se llama la "semi-vida" del elemento. Cada elemento radiactivo tiene una diferente semi-vida.

Por otra parte, la materia y la energía son una misma cosa. A esta conclusión llegó Alberto Einstein quien formuló su famosa teoría de la relatividad partiendo del principio de la invariabilidad de la velocidad de la luz, y tras una serie de cálculos relacionados con las transformaciones de volumen y masa que se operan en un cuerpo en movimiento, afirmó que debiera ser posible transformar la materia en energía, según su fórmula asombrosa:  $E = mc^2$ , en que E representa la energía en ergios, M la masa en gramos, y C la velocidad de la luz en centímetros por segundo.

Es fácil calcular por esta fórmula que la energía producida por la desintegración de la materia tiene que ser colosal.

Por el primer experimento de reacción nuclear controlada, se consiguió bombardear átomos con poderosos rayos emitidos por sustancias radiactivas y lograr transformar átomos de nitrógeno en átomos de oxígeno; más tarde, una reacción nuclear en el metal litio, lo transformó en helio y se demostró la producción de isótopos radiactivos de bario como resultado del bombardeo de uranio con neutrones, reacción que se designó con el nombre de fusión, fisuración o fisión.

#### D. *Reacciones en cadena y producción de la energía nuclear*

Se afirmó que utilizando el "uranio puro" (isótopo U-235), por ser una sustancia más sensitiva a la fisuración, se obtendrían efectos más poderosos al producirse la desintegración; que al desintegrar el átomo del U-235, volarían neutrones que bombardearían otros átomos; éstos a su vez lanzarían otros neutrones que causarían la desintegración de otros átomos y así sucesivamente, en cadena, hasta aniquilar la masa de uranio en donde comenzó el bombardeo, lo que, una vez experimentado, permitió conocer ya las propiedades de la fisuración del uranio y se supo que la reacción en cadena era la fuente principal de energía nuclear.

Finalmente, se obtuvo el control de la primera reacción en cadena en la desintegración del átomo de uranio (fisuración del isótopo U-235), al contarse con este elemento en su forma pura y con otros más, tales como el plutonio elaborado en una gran pila de grafito para moderar la velocidad de los neutrones.

Por supuesto, que la descarga de energía del combustible era lenta y más tarde al encontrarse el mencionado plutonio, PU-239, que es un elemento artificial producido por el hombre, se descargó la energía en explosión por kilotones, equivalente a la de 1,000 toneladas de TNT. Los cálculos nucleares mostraron que una reacción en cadena, a velocidad progresiva, podía hacerlo explotar. Logrado ello, se construyeron muchas otras instalaciones; se dejaron de construir las enormes pilas atómicas y fueron reemplazados por reactores experimentales relativamente más pequeños, que usaron sólo unas cuantas toneladas de uranio, útiles para el empleo de la energía nuclear con fines pacíficos; se desarrollaron los desintegradores atómicos, perfeccionándose el ciclotrón y sincrotón, todos ellos de mayor potencia cada día; y se vencieron innumerables problemas técnicos, dando a la energía atómica el impulso que la convierte hoy en día en una de las más grandes fuerzas de la humanidad.

Hasta aquí, este breve preámbulo acerca de la energía nuclear. En él se han omitido intencionalmente los datos histórico-técnicos del desarrollo de esta fuerza, pues desde el punto de vista científico, los componentes, las fuerzas y la estructura misma del átomo van más allá de las consideraciones jurídicas que presentaremos más adelante.

Su análisis requiere una comprensión sin precedente de la estructura misma del universo, que está fuera del alcance del autor y que se considera impropio exponer, ya que este estudio es exclusivamente jurídico, es de derecho.

### 37. Las instituciones jurídicas relativas a la energía nuclear

Desde luego la parte más importante de este estudio y, consecuentemente, la más difícil, es la relativa a las instituciones jurídicas relativas a la energía nuclear, es decir, la colección metódica de los elementos que integran este derecho en un complejo de normas institucionalizadas válidas constitucionalmente y de aplicación dentro del Estado mexicano y aún, excepcionalmente, fuera de su territorio nacional.

Son normas jurídicas acerca de la investigación científica de la energía nuclear; de los materiales científicos de la energía nuclear; de los materiales nucleares básicos y fusionables; de la exploración, explota-

ción y beneficio de yacimientos minerales radioactivos; de las instalaciones, plantas y reactores nucleares; de las personas morales y físicas involucradas; del transporte de materias radiactivas; del riesgo nuclear; de las responsabilidades que nacen en este renglón; de la seguridad radiológica, y de las infracciones que se cometen en el campo de la energía nuclear, que al ser promulgadas en forma de derecho positivo se han institucionalizado jurídica y políticamente, y aún diríamos nosotros, socialmente, puesto que el derecho es una ciencia social, de aplicación en una sociedad, llámese ésta nación o Estado.

Por supuesto que las instituciones jurídicas mexicanas relativas a la energía nuclear, están basadas en las tradiciones, costumbres, leyes y convenciones que México ha suscrito y ratificado consitutionalmente, por lo que son la ley suprema de la nación. Estas instituciones jurídico-sociales son los integrantes auténticos de nuestra cultura jurídico-social, pues aún en disciplinas jurídicas tan nuevas como el derecho de la energía nuclear, hay que seguir antecedentes que vienen del antiguo derecho minero mexicano. México ha tenido un lugar preponderante en la minería y las normas jurídicas aplicables a ella tienen una estrecha relación con todo lo que se ha legislado acerca de la energía nuclear.

Y en esta parte especial de nuestro estudio sobre las instituciones jurídicas particulares, propias, de lo que podríamos llamar un auténtico derecho nuclear mexicano, no olvidaremos las tres vías principales de enfocar tal derecho: el análisis histórico por el que se procura conocer el desarrollo de estas instituciones, el cual ya hemos expuesto en la primera parte de nuestra investigación; el análisis comparativo que supone el estudio de instituciones jurídicas relativas a otros países; y, por último, el partir de la forma en que tales instituciones se encuentran interrelacionadas con la materia de la energía nuclear misma.

Hoy en día, con el desenvolvimiento de la técnica y de la ciencia, el derecho es como nunca una ciencia de interrelación que se vale de numerosas disciplinas para estructurar las formas jurídicas en un proceso más bien interdisciplinario y de interdependencia.

### 38. La investigación científica de la energía nuclear en México

Desde luego, la (LR85), actualmente en vigor, determina que regula la exploración, la explotación y el beneficio de minerales radioactivos, así como el aprovechamiento de los combustibles nucleares, los usos de la energía nuclear, la investigación de la ciencia y técnicas nucleares, la

industria nuclear y todo lo relacionado con la misma (artículo 1o., capítulo I. "Disposiciones Generales").

Además, dice que el uso de la energía nuclear sólo podrá tener fines pacíficos en cumplimiento de lo establecido en el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y agrega que el ejecutivo federal dictará las disposiciones reglamentarias a que se sujetará el uso tanto energético como no energético de los materiales radiactivos (artículo 2o.).

El artículo 13 determina que las actividades nacionales de investigación y desarrollo tecnológico en materia nuclear se orientarán a lograr la autodeterminación científica y técnica, así como el óptimo aprovechamiento de las aplicaciones de los materiales y combustibles nucleares y de los materiales radiactivos, con objeto de fortalecer el avance económico y social de la Nación.

El empleo de reactores nucleares se sujetará a las normas que para tal efecto expida la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP) y a la vigilancia de la misma.

Además, tratándose de los usos no energéticos del material radiactivo, la ley preceptúa que la producción, el uso y la aplicación de radioisótopos, así como la fabricación de los componentes del sistema nuclear de suministro de vapor, con excepción del combustible nuclear, son actividades prioritarias para el desarrollo económico nacional en los términos del párrafo quinto del artículo 25 constitucional.

Las actividades mencionadas podrán llevarse a cabo por el sector público, por sí o con los sectores social y privado, previa autorización de la SEMIP. Tratándose de la producción de radioisótopos, mediante la utilización de reactores nucleares, sólo se llevará a cabo por el sector público, las universidades, los institutos, y los centros de investigación autorizados conforme a esta ley.

Las autorizaciones para la producción de radioisótopos, a partir del uso de combustible nuclear, se expedirán por el titular de la SEMIP, conforme a lo previsto en las disposiciones reglamentarias y se publicarán en el *Diario Oficial de la Federación*.

Las autorizaciones anteriores se expedirán previa opinión del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) y las autoridades competentes, según se haga la utilización de los radioisótopos en las áreas de salud, industria o agricultura (artículo 16). La LR85 agrega que el combustible nuclear es propiedad de la Nación; el ejecutivo federal sólo podrá autorizar su uso en los términos de la ley y siempre

bajo la vigilancia de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (artículo 17).

Por último, en su artículo quinto transitorio especifica que las universidades, institutos, centros de investigación que posean combustibles nucleares en propiedad o arrendamiento, podrán conservar dichos combustibles, siempre que se ajusten a las normas de la ley y a las disposiciones que al efecto expida la SEMIP. Dicha Secretaría se abstendrá de autorizar prórrogas a los contratos de arrendamiento mencionados o cualquier acto por el que se permita el uso o posesión de combustibles nucleares, salvo los establecidos en la presente ley.

El gobierno federal, conforme a los programas y políticas de la planeación nacional de desarrollo, proveerá los combustibles nucleares que requieran las instituciones citadas para la realización de sus proyectos.

Por otra parte, la misma LR85 consigna que el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) tendrá por objeto realizar la investigación y desarrollo en el campo de las ciencias y tecnología nucleares, así como promover los usos pacíficos de la energía nuclear y difundir los avances alcanzados para vincularlos al desarrollo económico, social, científico y tecnológico del país.

Precisamente en la investigación y desarrollo de las ciencias y la tecnología nuclear, ha tenido una gran importancia la utilización de reactores para la producción de radioisótopos.

Desde luego, tratándose en particular de los aceleradores de investigación con que normalmente se ha trabajado en México, a través del ININ y el Centro Nacional de Energía Nuclear de Salazar, Estado de México, la UNAM, el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y la Universidad de Guanajuato, es conveniente recordar que los aceleradores de partículas son dispositivos que proporcionan un gran incremento en su energía cinética a partículas cargadas, como electrones y protones, que al hacerlas interaccionar con la materia viva e inerte a nivel atómico o nuclear producen fenómenos que ayudan a conocer sus características internas o a cambiar algunas propiedades físicas o químicas para su utilización en la investigación aplicada e industria.

Por supuesto que los aceleradores pueden ser divididos en dos clases: aceleradores electrostáticos y aceleradores cíclicos.

Los aceleradores electrostáticos —dice el ingeniero Héctor López Valdivia— son aquellos en los que la aceleración de las partículas se logra mediante la aplicación de una gran diferencia de potencial constante en el tiempo cuyo valor fija la máxima energía vital de las partículas.

Los otros aceleradores. son los aceleradores cíclicos en los cuales las



partículas, durante su trayectoria, reciben pequeños incrementos en su energía cinética mediante campos eléctricos alternantes. Ejemplos de este tipo de aceleradores son el Cyclotrón, el Betatron y el Linac.

La Facultad de Ingeniería de la UNAM y la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del IPN, propiciaron la creación en 1938 del Instituto de Física de la UNAM y en 1939 de la Facultad de Ciencias de la propia UNAM.

Entre otras actividades, a estos centros les correspondió la tarea del desarrollo de las aplicaciones científicas de la energía nuclear.

Precisamente por iniciativa y bajo el impulso del doctor Nabor Carrillo Flores, se construyó el Centro Nuclear de México. En efecto, a partir de 1965 se concluyó por la Secretaría de Obras Públicas (SOP) la construcción del Centro Nuclear de México, con una inversión de \$153'500.096.42.

Dicho Centro está ubicado en las inmediaciones de la población de Salazar, municipio del mismo nombre, en el Estado de México y consta de una importante obra civil levantada en amplio terreno; de numerosos aparatos, instrumentos y maquinaria de alto valor; de diversos muebles, de buen equipo de oficina y de los vehículos necesarios.

El Centro está destinado a diversas aplicaciones de la energía nuclear con fines pacíficos y, en particular, para los usos de la agricultura, la industria y la investigación científica.

Se cuenta con un reactor Triga Mark III, de un megawatt de potencia y según consta en las *Memorias del Centro*, el combustible se recibió oportunamente o sea uranio enriquecido al 20% en uranio 235 cumpliéndose los compromisos contraídos por México respecto al Acuerdo de Salvaguardias suscrito con el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) y la desaparecida Comisión Nacional de la Energía Nuclear (CNEN), en aplicación del artículo 13 del Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina (Tratado de Tlaltelolco). También se tiene un acelerador Tandem Van de Graaf, de 12'000.000.00 de electrones volt.

Desde 1966 la CNEN y la Comisión Federal de Electricidad (CFE), estudiaron conjuntamente la adquisición de una planta nuclear para la generación de electricidad.

El Centro Nuclear de México, cuenta también con un laboratorio.

Finalmente, en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), se diseñó y construyó un prototipo de acelerador de electrones de tipo Pelletron, al cual nos referimos más adelante.

A. *El Instituto de Física de la UNAM (IFUNAM) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN)*

Al fundarse el IFUNAM en 1939, nos dice el doctor Carlos Graef Fernández, en su estudio: *Origen del desarrollo y uso de los aceleradores de partículas en México*, se inició la construcción de trenes de contadores de rayos cósmicos para medir la intensidad de esta radiación para diferentes ángulos cenitales. Este programa lo dirigía el doctor Manuel Sandoval Vallarta desde el Instituto Tecnológico de Massachusetts, en Cambridge, Estados Unidos, en donde él era entonces catedrático titular de física de altas energías. Los aparatos se instalaron en la azotea del Palacio de Minería que alojaba en esa época al IFUNAM y a los departamentos de física y de matemáticas de la recién fundada Facultad de Ciencias.

Entre 1947 y 1948 y con fondos de la "Campaña de los Diez Millones" el propio IFUNAM fue dotado con un aparato de difracción de rayos X, con el cual se iniciaron investigaciones de física cristalográfica.

Más tarde, en 1954, se instaló el primer acelerador de partículas: el Van de Graaf, de dos millones de electrones Volt del propio Instituto, adquirido a la High Voltage Engineering Corporation, en el pabellón especial construido por el arquitecto González Reyna en un jardín en la inmediata vecindad del edificio conocido como Torre de Ciencias de la UNAM, con el cual se iniciaron las investigaciones en física nuclear experimental con los haces de partículas de este aparato.

Para el funcionamiento y mantenimiento del acelerador fueron necesarios científicos y técnicos especializados. Ahí estuvieron Fernando Alba y Alonso Fernández (físicos); Eduardo Díaz Lozada (ingeniero). Había que operar el acelerador. Ahí estuvieron también Nabor Carrillo Flores, Manuel Sandoval Vallarta, Carlos Graef Fernández, Alberto Barajas, Marcos Mazari y Marcos Moshinsky (científicos). Apoyaron todas estas actividades iniciales el presidente de México, licenciado Miguel Alemán Valdés y el arquitecto Carlos Lazo.

En 1954, el investigador William W. Buechner hizo al IFUNAM el donativo de una pequeña cámara de dispersión que utilizaba pequeñas placas fotográficas y con la que se pueden medir distribuciones angulares en reacciones nucleares. Se construyeron espectrógrafos, cámaras de dispersión, electroimanes y toda clase de equipo auxiliar. Además de numerosos artículos, libros técnicos y de divulgación, el Van de Graaf provocó la elaboración de tesis de licenciatura, maestría y doctorado.

En 1955, se inició la construcción de otro acelerador de 0.5 mev. Se empiezan a multiplicar los aceleradores en México. Más tarde, se instaló en el Centro Nuclear de México en Salazar, Estado de México, un acelerador Tandem Van de Graaf de 12 mev. y la investigación nuclear culmina en nuestro país cuando en 1986 se instala en el IFUNAM un acelerador Van de Graaf de 5.5 mev., a fines de agosto y con la inauguración del Pelletrón del ININ, que es el aparato modulador de un laboratorio que dirige la física nuclear Alejandra Jaidar.

El Centro de Estudios Nucleares de la UNAM está a cargo del doctor Marcos Rosenbaum y la UNAM está representada en el ININ, a través del rector que es miembro de su consejo directivo.

El ININ cuenta con un Centro de Información y Documentación Nuclear a cargo del profesor Pedro Zamora, en el que se integra una magnífica biblioteca sobre la materia y el cual es de uso común para las instituciones e investigadores de la energía nuclear, particularmente por lo que toca a la labor científica hecha en México.

## B. *La Universidad de Guanajuato*

En 1948, se empiezan los trabajos de física experimental en unas oficinas que había rentado en el edificio de las Fábricas de Francia, en León, el físico Armando López, quien dirigía y costeara tales trabajos. En 1955, se inició la construcción de otro acelerador de partículas Van de Graaf de 0.5 mev., bajo la dirección del propio Armando López y al visitar tales talleres el gerente general de la Haig Voltage Engineering Corporation, Dennis dona a los laboratorios de investigación de Guanajuato el tubo acelerador que era necesario para completar la parte ya construida del acelerador, que una vez terminado en 1960 permitió obtener hasta 80 UA, a 0.6 mev.

Esto impulsa, por supuesto, en forma definitiva el Instituto de Investigaciones Nucleares de la Universidad de Guanajuato (IINUG).

Es más, el Pelletrón del ININ, fue diseñado por el propio físico Armando López, y el responsable de la construcción es su hijo, Héctor López, investigador del ya mencionado ININ.

Y para cerrar este capítulo diremos que conforme a la LR85, en su artículo 42, párrafo segundo, se establece que la investigación y desarrollo que realice el ININ deben ser congruentes con las políticas nacionales y llevarse a cabo de acuerdo con los programas que para tal efecto se aprueben, lo que significa que deben ser congruentes con el Plan Nacional de Desarrollo 1983-1988 y, en especial, ajustarse

## INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE LA ENERGÍA NUCLEAR

255

al programa Nacional de Energéticos 1984 - 1988 publicado en el *Diario Oficial* de 15 de agosto de 1984.

Las atribuciones del Instituto están detalladas por la LR85, en su artículo 34 y a él nos hemos referido ampliamente en la parte general de este estudio.